

論文

ヒノキ人工林における表土流亡危険度の予測*1 ——土壤侵食強度の簡易評価における地表面観察の有効性の検討——

塚本 次郎*2・梶原 規弘*3・入田 慎太郎*4

塚本次郎・梶原規弘・入田慎太郎：ヒノキ人工林における表土流亡危険度の予測—土壤侵食強度の簡易評価における地表面観察の有効性の検討— 日林誌 80: 205~213, 1998 数量化分析によるヒノキ人工林の侵食危険度判定基準作成の第一段階として、侵食強度の簡易評価に利用可能な間接的指標の抽出を試みた。コシダとウラジロの群落がパッチ状に分布するヒノキ人工林のコシダ群落内にコシダ区 (KT), ウラジロ群落内にウラジロ区 (UT), それぞれに隣接して下層植生がほとんどない箇所にコシダ対照区 (KC) とウラジロ対照区 (UC) の4試験区を設けた。各試験区下辺に設置した土砂受け箱により細土移動量を測定し、試験区内に均等配置した方形枠について下層植生被度の判定と林床状態の観察を行った。土壤侵食の強度について下層植生被度から予測されるプロット間序列は $KT < UT \ll KC < UC$, 土柱個数, 段差面積, 根系面積率により間接的に指標される序列は $KT < UT \ll KC < UC$ であった。また, 侵食強度の直接的指標である細土移動量の序列は $KT < UT \ll UC < KC$ であった。細土移動量の序列と他の二つの序列間に KC と UC の逆転が見られた1点を除き, 上記の3序列が良く一致していることに基づいて, 土壤侵食強度の間接的指標としての土柱個数, 段差面積, 根系面積率の有効性を結論した。KC と UC での地表面硬度と表層土の理学性の測定結果に基づいて, UC では KC に比べて侵食され易い素材が相対的に少なかったことが, 序列間の不一致の原因となったことを示した。

キーワード: 雨滴衝撃, 下層植生, 侵食強度, 土柱, ヒノキ人工林

Tsukamoto, J., Kajihara, N., and Nyuuta, S.: Prediction of surface soil loss on slopes afforested with Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) —Examination of availability of several features of forest floor for assessing intensity of soil erosion—. J. Jpn. For. Soc. 80: 205~213, 1998 In order to provide a standard for predicting erodibility in Japanese cypress stands by using the quantification theory, availability of several features of the ground surface as indices of the intensity of soil erosion was examined. In a Japanese cypress plantation with patches of undergrowth of two species of fern, four study plots of 10 m square were set up; plots KT and UT being covered with *Dicranopteris linearis* and *Gleichenia japonica*, respectively, plots KC and UC having almost no undergrowth. In each plot, the amount of soil moving down the slope was measured by using ten trap boxes and the undergrowth coverage and ground surface features such as number of "soil poles," length and height of "soil cliffs," and fine roots exposure were observed in five quadrats of 50 cm square. The order of soil erosion intensity expected from the undergrowth coverage was $KT < UT \ll KC < UC$. The order indicated by the ground surface features mentioned above was $KT < UT \ll KC < UC$. The order of the amount of the trapped soil was $KT < UT \ll UC < KC$. The effectiveness of the ground surface features as indices of soil erosion intensity was concluded from the good coincidence among the three orders. A single discrepancy was the reversal of KC and UC in the order of the amount of the trapped soil compared to the other orders. A comparison of several physical properties of the surface soil between UC and KC revealed that the amount of loose and easily erodible soil material was less in UC than in KC, which was considered to cause the discrepancy.

Key words: *Chamaecyparis obtusa*, features of the ground surface, impact of rain drops, soil erosion, undergrowth coverage

I. はじめに

ヒノキ一斉単純林では、ヒノキの樹種特性に起因して、立地条件によっては成林の過程で地力が低下する危険性の高いことが繰り返し指摘され (川名ら, 1963; 原田ら, 1969; 橋本, 1970; 四手井, 1974; 赤井, 1977), 造林技術上の対策として, 植栽密度の調整や樹種混交 (原田ら, 1969), 強度の間伐 (四手井, 1974; 赤井, 1977) などの方法が提案された。その後, ヒノキ人工林のリターや土砂の流失に関する研究が数多く行われ, ①ヒノキ林では, 隣接するスギ林や広葉樹林に比べて地表を保護する A₀ 層が

貧弱であること (吉村ら, 1982, 1983; 井上ら, 1983; 塚本, 1989; 森・逢坂, 1994), ②結果として, ヒノキ林では, 隣接するスギ林や広葉樹林に比べて土砂の侵食量が大きいこと (吉村ら, 1982, 1983; 中村, 1983; 塚本, 1989; 森・逢坂, 1994), ③このような表土の侵食を防止するうえに下層植生の有効性が高いこと (赤井ら, 1981, 1982; 吉村ら, 1981, 1983; 井上ら, 1987; 岩川ら, 1987b) が実証された。これらの研究は, 先に提案された方法が, ヒノキ人工林に下層植生あるいは他樹種のリターをもたらすという点で妥当なものであることを示す。しかし, これらの方法は少なくとも当代の林の収益性の向上とは必

*1 本研究で1992~1994年に実施した調査の一部は林野庁地域重要新技術開発促進事業 (急傾斜地における表土流亡危険度判定技術の検討) の事業費によった。また, 1995年に実施した調査は文部省科学研究費補助金 (粗放施肥が森林生態系の構造と機能に与える影響) によった。

*2 高知大学農学部附属演習林 Kochi Univ. Forest, Nankoku 783-0093

*3 高知県林業試験場 Kochi Pref. For. Exp. Stn., Kochi 782-0051

*4 高知大学大学院農学研究科 Grad. Sch. of Agric. Sci., Kochi Univ., Nankoku 783-0093

ずしも相容れない側面を持つ。また一方で、土壤侵食の危険性は降雨条件や立地条件に応じて大きく異なるため、林地保全の緊要度もこれに応じて異なり、講ずべき対策の内容も一様ではないと考えられる。従って、林地生産力と公益的機能の維持を重視した林地保全的育林技術のヒノキ人工林への導入を円滑に、合理的に行うためには、予め個々の林地の土壤侵食の危険度を客観的に判定する基準が必要となる。

このように実用を目的とする侵食危険度判定基準の作成には、地位指数の推定や山腹崩壊危険度の予測の場合同様、降雨条件や立地条件を説明要因とする数量化分析の手法が有効である。この場合、外的基準には侵食強度を用いることとなる。侵食強度を最も直接的に示すものとして、侵食土砂量の実測値が考えられる。しかし、分析の信頼性を保証するのに必要な数の林地で侵食土砂量を測定するのは容易ではない。多点データを必要とする数量化分析を行うためには、侵食強度を簡易に、間接的に評価する方法が必要となる。

土柱、細根の浮き上がり等、土壤侵食の結果として林地表面に現れるいくつかの特徴について行われた従来の研究は、これらの特徴が侵食強度の間接的評価に利用可能であることを示唆する(宮川ら, 1987, 1988 a, 1989; 荒木・塚本, 1994; 荒木ら, 1995; 酒井・大貫, 1995)。しかし、宮川ら(1988 b)が土柱とリルの出現頻度を年間の地表物質の移動量と対比して示した以外は、侵食強度の間接的指標としての林地表面の特徴と、直接的指標としての移動物質の量との関係の詳細な検討は行われていない。

本研究では、立地条件や林分状況からヒノキ人工林の表土流亡危険度を予測する手法を検討することを目的として、多数の林分で立地条件と林分状況を調べ、林地表面の観察を行った。また、これと並行して固定試験地を設け、侵食強度の直接的指標としての林地表面物質の移動量を実測すると同時に、侵食強度を間接的に指標するものとして、測定箇所の上部斜面の林地表面の状態を観察した。本論文では移動量と林床状態との対応関係を検討し、それに基づいて、本研究で取り上げた林地表面の観察項目が、侵食強度の簡易な間接的評価に有効であることを示した。

本研究の試験計画の策定にあたり、森林総合研究所土壤物理研究室の加藤正樹室長と森林総合研究所関西支所土壤研究室の荒木 誠室長には懇切なご指導をいただいた。厚くお礼申し上げます。

II. 調査地の概要と調査方法

1. 調査地の概要

調査林分の所在地は高知県香美郡土佐山田町林田である。この地域は古生代砂岩泥岩互層地帯にあり、黄色系褐色森林土の分布域に属する。年平均気温 16.1°C, 年平均降水量 2,382 mm (1984~1993) の夏雨型の多雨地である。

調査林分は集落や水田からの起伏量が 200 m 程度の低い里山に造林され、間伐遅れで過密になった 35 年生ヒノキ人工林で、標高約 100~230 m の斜面に成立している。被圧木や枯死木を混じた林内は暗く、全般に下層植生の消失が進んでいるが、凸地形や尾根筋でヒノキの樹高成長の遅れている部分と林縁付近にはコシダ、ウラジロの群落が残存している。このような林分内で、林縁のアカマツの枯死により良好な光環境が維持され、衰退を免れたコシダ群落内、これに隣接するがコシダ群落外にあり下層植生に乏しい箇所、衰退途上のウラジロ群落内、これに隣接するがウラジロが消失して下層植生がほとんどなくなっている箇所、の計 4 か所に 10 m×10 m の方形プロットを設け、それぞれ、コシダ区、コシダ対照区、ウラジロ区、ウラジロ対照区と名付けた(図-1)。土砂の移動量測定終了後の 1994 年 10 月に調べた各プロットの地況と林況を表-1 に示

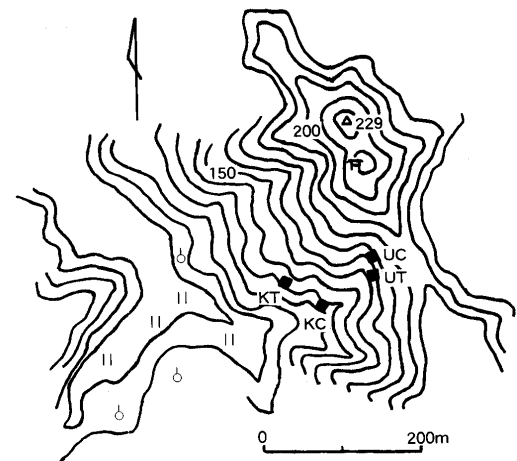


図-1. 調査プロット位置図

KT, コシダ区; KC, コシダ対照区; UT, ウラジロ区; UC, ウラジロ対照区。

表-1. 調査プロットの概要

プロット名	コシダ区	コシダ対照区	ウラジロ区	ウラジロ対照区
地形				
方位	S 25°W	S 30°W	S 85°W	S 75°W
傾斜(°)	40	35.5	37.5	40
上部斜面長(m)	69	164	64	53
微地形指数 ¹⁾	-1.57	-3.9	-0.36	0.42
林況				
立木密度(N/ha)	3200	3100	3000	2500
上層木平均樹高(m)	12.2	13.7	15.1	12.9
平均胸高直径(cm)	13.4	15.0	15.9	15.2
収量比数 ²⁾	0.89	0.93	0.96	0.89
下層植生被度(%) ³⁾				
~30 cm	78±14	7±6	59±25	2±2
30 cm~2 m	68±21	2±2	56±32	2±2
下層植生現存量(g/m ²) ⁴⁾	403±134	9±8	231±78	1±1

¹⁾ プロットの 4 隅および 4 辺の midpoint とプロット中心点との標高差の総和、すなわち $\Sigma \{ (\text{周囲 8 点のいずれかの標高}) - (\text{中心点の標高}) \}$ であり、+ の値は凹地形、0 は平滑地形、- の値は凸地形を示す。²⁾ 南四国・近畿地区ヒノキ林分密度管理図から(林野庁, 1981)読み取り。³⁾ 平均値±標準偏差(N=5)。⁴⁾ 乾重(80°C・48 h), 平均値±標準偏差(N=10)。

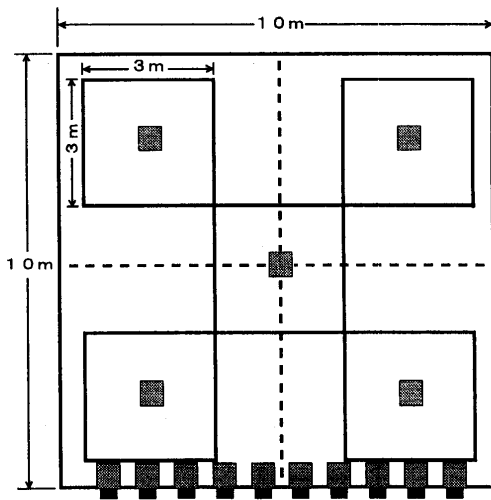


図-2. 調査プロット見取り図

黒つぶしブロック，土砂受け箱；影ブロック，林地表面の状態を観察した方形枠（50 cm×50 cm）。

表-2. 下層植生被度の判定と判定結果の処理

占有面積率(%)	0	1	2~10	11~25	26~50	51~75	76~99	100
評価区分	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
割り当てた被度の値(%)	0	1	6	18	38	63	88	100

す。下層植生の被度は、各プロット内に図-2のように配置した3 m×3 mの5個ずつの小方形区について、地上30 cm以下と30 cm~2 mの二つの階層に分けて占有面積率(%)を肉眼判定した。現地での判定には表-2の中段に示した8段階評価を用い、データ処理においては各評価区分に表-2の下段に示した被度の値を割り当てた。下層植生の現存量は、プロット下辺に沿って設置した10個の土砂受け箱の直上部斜面に50 cm×50 cmの方形枠を設け(図-2)、枠内の下層植生を地際から刈り取って求めた乾燥重量を、各プロット10個の標本の平均値で示した。

コシダ区とコシダ対照区は、南南東に走る主尾根から各々南西方向に延びた二つの支尾根の一方に位置し、いずれもやや凸形の急傾斜地である。ウラジロ区とウラジロ対照区は共に、主尾根の鞍部に向かって西から入り込んだ広い谷の谷壁上部の急斜面上にあり、微地形はほぼ平滑であった。ウラジロ対照区はウラジロ区より谷の中心部寄りに位置し、より急傾斜で、後に述べるように膨軟なA₁層を欠いて、堅密な土層が露出していた。

2. 移動土砂量の測定方法

1992年9月、土砂受け箱10個ずつを、各プロットの下辺に沿ってほぼ等間隔に設置した(図-2)。土砂受け箱は、受け口が幅25 cm×高さ15 cm、奥行きが20 cmの木枠である。背面には水だけが抜けるように30メッシュのサラネットを張り付け、受け口の下辺には、移動土砂が接地部に生じる隙間から箱の下へ抜けるのを防ぐために、ブリキ製エプロン板を水平前方に約5 cm張り出すように取り付けた。設置に際しては受け口接地部の地面に剪定鋏で水平に切り込みを入れ、根を切断した後にエプロン板を挿入

した。1992年10月から1994年9月まで、林外雨量を測定すると同時に、3か月ごとに土砂受け箱に流入した土砂とリターを回収した。回収物は風乾後、細土($\phi < 2$ mm)、礫($2 \text{ mm} \leq \phi$)、リターに区分し乾燥重量($80^\circ\text{C} \cdot 48 \text{ h}$)を求めた。

3. 地表面の状態の調査方法

土砂移動量測定終了後の1994年10月、上述のプロット全体についての概況調査を行う前に、土砂受け箱直上部の地表面の状態に関する以下の調査を行った。40個の土砂受け箱一つ一つについて、受け口に接する上方斜面に50 cm×50 cmの方形枠を設け(図-2)、枠内の下層植生を地際から刈り取った後に、地表面をA₀層(落葉落枝)、コケ、根系(ヒノキ細根が雨の作用により洗い出されて地表に露出した部分)、鈣質土層(石礫を含む)、その他(蔓植物のツル、灌木や草本の根株等)に5区分して、肉眼観察により各区分の占有面積率(%)を求めた。また、枠内の土柱個数を数え、段差の総延長および平均高さを測定した。土柱とは礫や球果の周囲の土壌が雨滴により侵食されてできた礫や球果を頭に載せた土の柱である。段差とは小枝や地表に露出した根の斜面下方部の土壌が小枝や根に沿って侵食されてできた階段状の部分であり、総延長×平均高さ、により階段の鉛直面の面積が近似される(以下、段差面積)。更に、長さ1 mのポールとクリノメータを用いて土砂受け箱直上部1 m範囲の地面の傾斜を測定した。以上により、各土砂受け箱と一対一で対応する直上部地表面の状態に関するデータが得られた。

一方、これとは別にプロット全体の平均的な地表面の状態を示す数値を得るために、プロット内に図-2のような配置で50 cm×50 cmの5個の方形枠を設け、土砂受け箱直上部の方形枠に関する調査と同様の項目を調査した。但し、1 m範囲の傾斜と下層植生現存量は測定しなかった。

なお、リルの有無についても調べたが、本調査地にはリルの形成は認められなかった。

4. コシダ対照区とウラジロ対照区の表層土壌の理学的性の測定方法

後に述べるように、コシダ対照区とウラジロ対照区での細土移動量測定値は、両プロットの下層植生被度と地表面状態の観察結果の各々からプロット間に期待されるものとは逆の序列をもたらした。そこで、その原因を検討するために、1995年9月、400 cm³の採土円筒を用いて両プロットの土砂受け箱一つ一つにつき斜面上方3 mの範囲内で表層土(1~5 cm深)を採取し、真下式透水試験器による透水性の測定、吸水板脱水による $0.5 < pF < 2.7$ 相当の孔隙量の測定、および、定法による細土の容積重の測定を行った。一部の試料が撥水性を示したので、透水性と飽水時重量は全試料についてアルコール処理後に測定した。

III. 結果と考察

1. 表層物質の移動量

土砂受け箱に流入した1 m幅当たりのリター、細土、

礫の通過量(乾燥重量; 80°C・48h)を1993年1~12月(前期)と1994年1~9月(後期)とに分けてプロットごとに合計し、各期間中の移動量として表-3に示した。1992年10~12月の第1回目の測定資料は、土砂受け箱設置による地表攪乱の影響が懸念されたので棄却した。移動量を、コシダで覆われたコシダ区と下層植生に乏しいコシダ対照区の間で比べると、前期、後期共に、細土、礫、リターのいずれの画分についてもコシダ区<コシダ対照区の関係が顕著であった。ウラジロで覆われたウラジロ区とほぼ無植生のウラジロ対照区の間での比較においても、コシダ区とコシダ対照区の場合に比べて差はやや小さかったが、前後期、全画分を通じてウラジロ区<ウラジロ対照区の関係が明瞭であった。

前期と後期を比較すると、後期9カ月間の降水量は前期の年降水量の半分に満たなかった。これに対応して、移動量にはコシダ区とウラジロ区の細土を除く全プロット、全画分を通じて、前期>後期の関係が認められた。

降雨要因と移動量との関係をもう少し詳しく見るために、1993年1月~1994年9月の期間について、降水量と

表-3. 林地表面物質の移動量(乾重 80°C・48h; g/m)と降水量(mm)

期間	コシダ区	コシダ対照区	ウラジロ区	ウラジロ対照区	降水量
前期* 細土($\phi < 2$ mm)	4.06	825.50	15.77	476.97	
礫(2 mm \leq ϕ)	15.48	963.25	57.68	323.45	
リター	55.33	395.93	65.78	320.32	
合計	74.87	2184.68	139.23	1120.74	3124
後期** 細土($\phi < 2$ mm)	10.99	576.34	22.32	194.32	
礫(2 mm \leq ϕ)	6.67	334.08	30.43	94.16	
リター	27.25	183.22	29.20	135.55	
合計	44.91	1093.64	81.95	424.03	1368

* 1993年1~12月, ** 1994年1~9月。

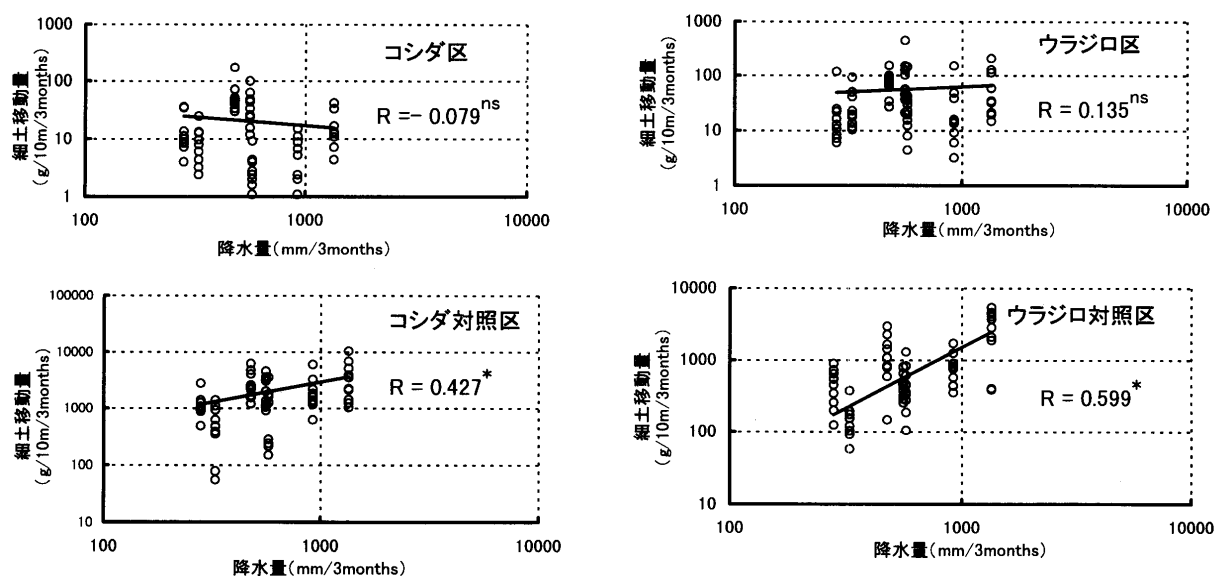


図-3. 降水量と細土移動量との関係

ns, 有意性なし ($P > 0.20$); *, 有意 ($P < 0.01$)。

細土移動量との関係を図-3に示した。リターについては落葉の落下途中での風の作用(井上ら, 1987; Tsukamoto, 1991), 礫については崩落など(岩川ら, 1987a, b; Tsukamoto, 1993), 雨以外の要因が移動に対して相対的に大きな影響を及ぼすことがわかっているため、降水量との関係の検討は細土の移動量に限定した。従来、ヒノキ人工林では侵食土砂量または移動細土量と降雨因子との間に高い正の相関のあることが報告されている(表-4)。図-3では、特にコシダ対照区やウラジロ対照区において、受け箱間の変動が大きく、これが回帰からの残差を大きくしている。そこで、表-4に示した相関係数との直接の比較を可能にするために、両対数座標上で、10箱ずつの移動細土量の平均値の、降水量への直線回帰における相関係数を算出した(標本数7)。結果はコシダ区: -0.088 ($P > 0.50$), ウラジロ区: 0.356 ($0.20 < P < 0.50$), コシダ対照区: 0.734 ($0.05 < P < 0.10$), ウラジロ対照区: 0.760 ($0.02 < P < 0.05$)であった。これらは従来の研究で報告された相関係数に比べて明らかに小さい。その原因は、一つには、土壌侵食に強い影響を及ぼす降雨強度が降雨因子に取り込まれていないこと、しかも測定間隔が長いために、多くの連続降雨が測定期間内に含まれ、降水量と降雨強度の正の相関が弱められることなど、用いた降雨因子の不備にあったと考えられる。しかし、そうした不備にもかかわらず、無植生に近いコシダ対照区とウラジロ対照区での相関係数は、明らかにコシダ区やウラジロ区での相関係数に比べて大きく、コシダ区とコシダ対照区、ウラジロ区とウラジロ対照区、各々の間での細土移動量の差が、降水量の増加に伴って増大する傾向がはっきりと認められた。下層植生によって遮断され、蒸発する水が林内雨量に占める割合は、降水量が多くなるに従って低下するから、地表に到達する雨水の量が下層植生の有無によって異なる

表-4. ヒノキ人工林における侵食土砂量¹⁾または移動細土量²⁾と降雨要因との関係の検討事例

林齢	林床植生の取り扱い	測定間隔	目的変数(y)	説明変数(x)	回帰式	相関係数	文献
38	刈り取り	1週間	侵食土砂量	$PIi^{3)}$	$\log y = a \log x + b$	0.956	大味・綱本(1974) ⁵⁾
38	刈り取り	1週間	侵食土砂量	$PIi^{3)}$	$\log y = a \log x + b$	0.902	大味・綱本(1974) ⁵⁾
55	無処理	1カ月	侵食土砂量	$PI^{3)}$	$\log y = a \log x + b$	0.890~0.923	井上ら(1987)
55	刈り取り	1カ月	侵食土砂量	$PI^{3)}$	$\log y = a \log x + b$	0.959~0.967	井上ら(1987)
32	無処理	5~47日	移動細土量	$\Sigma PI^{4)}$	$\log y = a \log x + b$	0.943	塚本(1989)
32	無処理	5~47日	移動細土量	$\Sigma PI^{4)}$	$\log y = a \log x + b$	0.920	塚本(1989)
30	無処理	5~47日	移動細土量	$\Sigma PI^{4)}$	$\log y = a \log x + b$	0.936	塚本(1989)

¹⁾ 上部斜面からの土砂の流入を遮断した一定面積の区画からの侵食土砂(細土+礫)量。²⁾ 自然状態の林地において一定幅のラインを通過した細土量。³⁾ P , 期間内の総降水量; I , 期間内の1時間最大降水量; i , 期間内の10分間最大降水量。⁴⁾ P , 1連続降雨の総降水量; I , 1連続降雨の1時間最大降水量。⁵⁾ 侵食土砂量の少なかった広葉樹の混交したヒノキ壮齢林とヒノキ初齢林および、崩落土砂の多かったヒノキ幼齢林の結果は除いた。

表-5. ヒノキ人工林における林地表面層物質(リター+細土+礫)の移動量測定事例

所在地	プロット	立木 林齢 密度 (本/ha)	平均 樹高 (m)	下層植生 現存量 (g/m ²)	主な 下層植生	局所地形	傾斜 (°)	微地形 指数	測定年次 の降水量 (mm/年)	移動量 (g/m/年)	移動量に占め る礫の割合 (%)	文献	
高知県窪川町	P 1	59	1500	15.0	1980	木本 ¹⁾	尾根頂部	15	-4.80	3350	110	14 ²⁾	岩川ら(1987 a, b)
	P 2	59	1500	17.7	1070	木本 ¹⁾	山頂微凸形斜面	33	-1.29		290	24 ²⁾	
	P 3	59	1300	18.9	420	木本 ¹⁾	中腹沢状斜面	39	7.95		1420	36 ²⁾	
	P 4	59	1000	18.3	1680	木本 ¹⁾	中腹平衡斜面	38	-0.13		500	65 ²⁾	
	P 5	59	1400	20.8	10	木本 ¹⁾	中腹沢状斜面	36	7.99		2850	85 ²⁾	
	P 6	59	1100	18.4	560	木本 ¹⁾	中腹平衡斜面	35	0.48		1430	78 ²⁾	
	P 7	59	1600	19.8	50	木本 ¹⁾	中腹微凸形斜面	36	1.36		890	77 ²⁾	
	P 8	59	1500	18.6	1690	木本 ¹⁾	山脚平衡斜面	43	-0.04		2840	90 ²⁾	
	P 9	59	900	19.5	1060	木本 ¹⁾	山脚凹形斜面	41	2.21		5640	95 ²⁾	
高知県土佐山田町	H-I	32	2050	11.6	494	木本 ²⁾	—	29	0.06	3267	1287	40.6	塚本(1989), Tsukamoto(1993)
	H-II	32	1350	11.7	360	木本 ²⁾	—	25	4.29		1843	39.5	
	H-III	30	2400	10.1	174	木本 ²⁾	—	34	-5.38		2257	47.6	
高知県土佐山田町	コシダ区	35	3200	12.2	404	コシダ	凸形斜面下部	40	-1.57	3124	75	20.7	本研究
	コシダ対照区	35	3100	13.7	9	木本	凸形斜面下部	35.5	-3.90		2185	44.1	
	ウラジロ区	35	3000	15.1	231	ウラジロ	凹形斜面上部	37.5	-0.36		139	41.4	
	ウラジロ対照区	35	2500	12.9	1	(木本)	凹形斜面上部	40	0.42		1121	28.9	

下層植生現存量と移動量は乾重。¹⁾ 岩川(私信), ²⁾ 塚本(未発表), ³⁾ 図からの読み取り, 一, 記載なし。

度合いは、降水量の増加に伴って減少するはずである。従って、上述の結果から次の結論が導かれる。①本調査地で見いだされた移動土砂量における著しいプロット間差の第一義的な要因は、地表に到達する雨水の量の違いではなく、土砂の飛散(塚本, 1966; 井上ら, 1987)や地表流去水の増大(三原, 1951)をもたらす雨滴衝撃の強弱である。②コシダ対照区とウラジロ対照区では、相対的に強度の雨滴衝撃に起因して土壌侵食が生じていた。③コシダ区とウラジロ区では、それぞれコシダとウラジロによって雨滴衝撃が緩和されることにより、土壌侵食が抑えられていた。

本調査地での土壌侵食の強度を他のヒノキ人工林でのそれと比べるために、本研究とほぼ同じ土砂受け箱を用いた林地表面層物質(リター+細土+礫)の移動量の測定事例から、林況と地況について本研究とほぼ同じ項目が調査され、かつ年降水量が本研究の前期の降水量に近かった事例を選び、表-5に示した。本調査地での結果は表-1, 表-3と重複するが、比較の便宜のために再録した。

岩川ら(1987 a, b)の調査地は、山頂部から山脚部にかけて大面積に造成されたヒノキ人工林内にあり、九つのプロットは様々な地形の場所に設定されている。林地表面層物質の移動量はP5, P8, P9で著しく多い。しかし、これらのプロットは沢筋(P5),あるいは極めて急傾斜の山脚部(P8, P9)に位置し(岩川ら, 1987 a), 移動量全体に占める礫の量が極端に高い。岩川ら(1987 a)は、これらのプロットで、5~10月の移動量に比べて、相対的に降水量の少ない11~4月の移動量が大きかったことから、これらのプロットでは、融雪や霜柱の融解に伴う石礫の転落移動が多く含まれたものと推察している。これら3プロットを除くと、残り12プロットの年間移動量は100 g/m前後~2,200 g/m前後の範囲に納まり、本調査地のコシダ対照区はその上限付近に落ちる。コシダ対照区は雨滴衝撃の作用による土壌侵食の激しい林地を代表するものといえる。岩川ら(1987 a)のP1は土壌侵食が起きにくいと考えられる小尾根の頂部緩斜面に位置し、移動量も極めて少ない。全移動量に占めるリターの量は約70%に達

し(岩川ら(1987 a)の図から読み取り),細土の移動はごくわずかである。土砂受け箱で捕捉されたリター中には風で吹き込まれたものも多いと考えられる。本調査地のコシダ区とウラジロ区は急傾斜地であるにもかかわらず、両プロット、特にコシダ区の移動物は、量においても組成においてもP1に酷似している(表-3も参照)。赤井ら(1981),吉村ら(1981)はコシダ,ウラジロの表土流亡抑制効果の高いことを示し,清野(1988)は低木層被度に比べて草本層被度のほうがA₀層被覆率への影響が強いことを示した。本調査地のコシダ区,ウラジロ区と表-5に示した他の調査地との比較からも,これらのことが追認される。本調査地のコシダ区とウラジロ区は,それぞれコシダとウラジロの雨滴衝撃緩和作用により,土壤侵食が極めて軽微な林地を代表するものといえる。

このように,本研究で土壤侵食強度の間接的評価法の検討に用いた材料は,転落移動が多くなるような条件の林地を除いて,雨滴衝撃に伴う土壤侵食の強度の異なる広範なヒノキ人工林を代表し得たものと考えられる。

2. 土砂受け箱単位で見た細土移動量と土砂受け箱直上部地表面の状態との関係

移動量の大きかったコシダ対照区とウラジロ対照区において,箱ごとの細土移動量の差が最も大きくなったのは降水量が最大の1993年7~9月の期間であった。この期間の箱ごとの細土移動量と,箱の直上部斜面に設けた50cm×50cm方形枠のA₀層被度(面積率)との関係を図-4に,箱ごとの細土移動量と箱の直上部1m範囲の傾斜との関係を図-5にそれぞれ示した。コシダ対照区では,細土移動量はA₀層被度の増加に伴って減少し,傾斜が急になるに従って増加する傾向が見られたが,いずれの場合にも両者の相関は統計的に有意とは判定されない(P>0.2)ごく弱いものに過ぎなかった。ウラジロ対照区では,A₀層被度,傾斜のいずれについても細土移動量との間の相関は全く認められなかった。また,細土移動量を目的変数,A₀

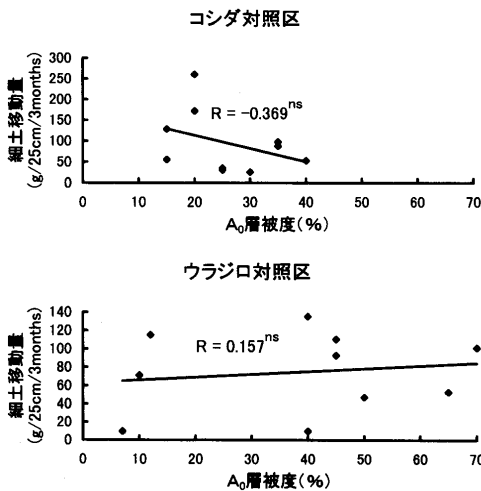


図-4. 土砂受け箱直上部のA₀層被度と細土移動量との関係

ns, 有意性なし(P>0.20)。

層被度と傾斜とを説明変数とする重回帰分析においても,両プロットに共通してA₀層被度と傾斜は共に統計的に有意な説明要因とは判定されなかった(P>0.2)。A₀層被度は直接雨滴衝撃を受ける鉱質土壤の露出面積を左右し,傾斜は土壤粒子の安定性や水の動きに影響するため,共に土壤侵食への影響の大きな要因であると考えられる。それにもかかわらず,両要因の細土移動量への影響が顕著でなかったという事実は,細土移動量が測定ライン直上部のごく狭い範囲の地表面の状態のみに左右されるわけではないことを示すものと考えられる。

コシダ対照区とウラジロ対照区の1993年7~9月の細土移動量について土柱個数,段差面積,根系面積率との関係を,それぞれ,図-6~8に示した。土柱の生成と細根の浮

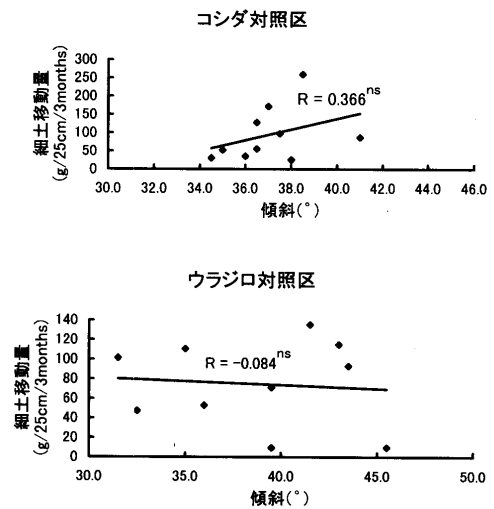


図-5. 土砂受け箱直上部の傾斜と細土移動量との関係

ns, 有意性なし(P>0.20)。

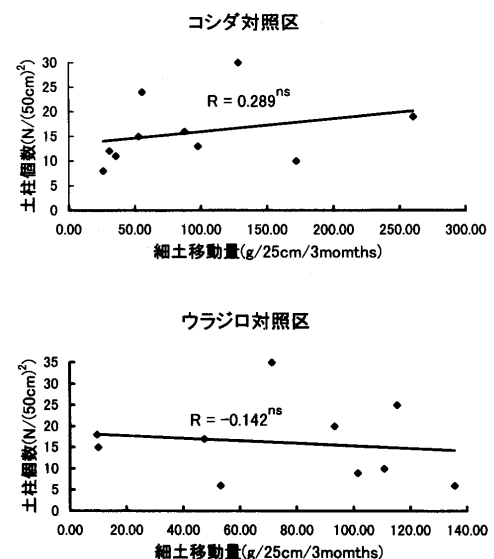


図-6. 細土移動量と土砂受け箱直上部の土柱個数との関係

ns, 有意性なし(P>0.20)。

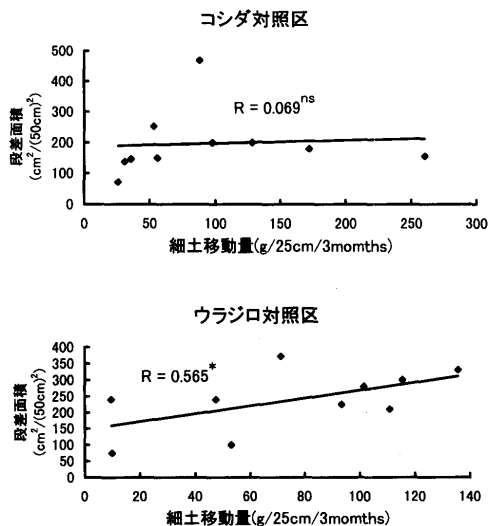


図-7. 細土移動量と土砂受け箱直上部の段差面積との関係

ns, 有意性なし ($P > 0.20$); *, 有意 ($0.10 > P > 0.05$).

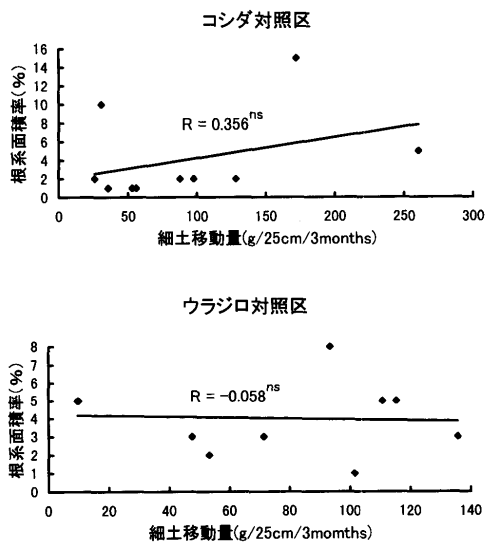


図-8. 細土移動量と土砂受け箱直上部の根系面積率との関係

ns, 有意性なし ($P > 0.20$).

き上がりは、土壤侵食の程度が増すにつれて顕著になることが知られている(宮川ら, 1987, 1988 a, b, 1989; 酒井・大貫, 1995)。また、段差は、その成因においては土柱と同じであり、地表にあって雨滴衝撃に抵抗する素材の点でのみ土柱と異なるに過ぎないと考えられる。従って、土壤侵食に起因する細土の移動量とこれらの項目との間には密接な関係の存在が期待された。しかし、ウラジロ対照区で細土移動量の増加に伴う段差面積の増加が見られた(図-8, $0.05 < P < 0.1$) 以外、これらの因子と細土移動量との間に密接な関係は認められなかった。このことは、測定ラインの直上部 50 cm という狭い範囲の侵食により生じた移動細土のみならず、より広い範囲の上部斜面から移動した細土が土砂受け箱に流入したことを示すものと考え

表-6. プロットの平均的な下層植生被度と林地表面の状態 (平均値±標準偏差, 標本数:5)

	コシダ区	コシダ対照区	ウラジロ区	ウラジロ対照区
下層植生被度 %	65.0±10.0	3.8± 3.8	47.4±33.9	0.4± 0.5
占有面積率 %				
A ₀ 層	94.6± 4.0	23.2±16.8	70.0±38.8	34.0± 11.4
コケ	3.4± 2.6	4.2± 3.6	0.4± 0.5	4.2± 1.1
根系	0.6± 1.3	11.0± 6.5	2.8± 4.2	14.0± 10.8
鉍質土層	0.4± 0.5	60.6±21.3	25.8±35.0	47.4± 9.6
その他	1.0± 0.0	1.0± 0.0	1.0± 0.0	0.4± 0.5
土柱個数 N/(50 cm) ²	1.0± 2.2	12.6± 7.0	2.2± 4.4	17.0± 12.5
段差面積 cm ² /(50 cm) ²	0.0± 0.0	100.0±67.9	0.0± 0.0	196.0±230.5

られる。

以上のことから、1本の等高線に沿う測定ラインを通過する細土量は、ライン直上部での局所的な侵食現象のみを反映するのではなく、むしろ、測定ライン上方に一定の広がりをもつ林地斜面における侵食現象を積算して反映するものと考えられる。すなわち、本研究で測定された細土移動量は、各プロットの平均的な侵食強度を直接的に指標するものと見なすことが可能であると考えられる。

3. 細土移動量のプロット平均値とプロット内の平均的な林地表面の状態との関係

表-6に、土砂受け箱直上部とは別に、プロット内に図-2のように配置した五つの方形枠(50 cm×50 cm)の下層植生被度と地表面の状態を平均値で示した。今、下層植生の被度に基づいて4プロットを2グループに区分し、コシダ区とウラジロ区をまとめて植生区、コシダ対照区とウラジロ対照区をまとめて、無植生区と呼ぶことにする。これらグループ間の比較では、表-6, 表-3, および、図-3に示したデータから、以下の3点が明白である。①無植生区は植生区に比べてA₀層被度が小さく、逆に鉍質土層の面積率が大きい(表-6)。②鉍質土層の面積率が大きい無植生区は、植生区に比べて降雨の影響を受け易く(図-3)、細土の移動量が大きい(表-3)。言い換えれば、相対的に強度の土壤侵食を受けている。③そのことは、根系面積率、土柱個数、段差面積の値に明瞭に反映されている(表-6)。

以上の事実は、図-2のような数と大きさ配置の方形枠調査で得られた下層植生被度のプロット平均値を、プロット内の平均的な土壤侵食強度を左右する要因と見なし得ること、また、同様にして得られた根系面積率、土柱個数、段差面積のプロット平均値を、プロット内の平均的な土壤侵食強度を間接的に指標するものと見なし得ることを示している。

4. 土柱個数、段差面積、根系面積率の土壤侵食強度の指標としての有効性の検討

2と3では、本研究で測定、観察した各項目の平均値(細土移動量については合計値)は、各プロットの平均的な土壤侵食現象を構成するそれぞれの要素を数値化したものと見なし得ること、すなわち、共通の基盤上での項目間

の比較が可能であることを示した。ここでは、これらの項目の各々について得られるプロット間の序列相互の対応の良さを尺度として、土柱個数、段差面積、根系面積率の“**土壌侵食強度の間接的指標**”としての有効性を検討する。

各項目のプロット間比較を同一水準で行うために、各々の項目について4プロットの平均値を求め、各プロットの値を平均値で除した指数になおして表-7に示した。コシダ、ウラジロにより雨滴衝撃が緩和されたコシダ区とウラジロ区では段差が生じていなかったため、段差面積のプロット間序列ではコシダ区とウラジロ区の順位は等しくなる。しかしこの点を除くと、土柱個数、段差面積、根系面積率のプロット間序列はいずれもコシダ区<ウラジロ区<<コシダ対照区<ウラジロ対照区、となり、“**侵食強度の間接的指標**”としてまとめられるこれら3項目間には明瞭な並行関係が認められた。“**侵食強度に影響を及ぼす要因**”のうち、傾斜のプロット間差は僅少であるので、プロット間に侵食強度の違いをもたらす要因としての傾斜の重みは、本調査地では小さかったものと考えられる。そこで、下層植生被度のみに着目するとプロット間の序列は、コシダ区<ウラジロ区<<コシダ対照区<ウラジロ対照区、となる。また、“**侵食強度の直接的指標**”としての細土移動量のプロット間序列は1993年と1994年に共通して、コシダ区<ウラジロ区<<ウラジロ対照区<コシダ対照区、であった。

このように、細土移動量の序列と他の項目の序列との間でコシダ対照区とウラジロ対照区の順位が入れ替わってい

表-7. 土壌侵食に関わる項目の指数*

プロット		コシダ区	コシダ対照区	ウラジロ区	ウラジロ対照区
侵食強度に影響を及ぼす要因	下層植生被度	2.23	0.13	1.63	0.01
	傾斜	1.05	0.93	0.98	1.05
侵食強度の直接的指標	細土移動量 <i>a</i> **	0.01	2.50	0.05	1.45
	細土移動量 <i>b</i> ***	0.05	2.87	0.11	0.97
侵食強度の間接的指標	根系面積率	0.08	1.55	0.39	2.39
	土柱個数	0.12	1.54	0.27	2.07
	段差面積	0.00	1.35	0.00	2.65

* 各項目について各プロットの値を4プロットの平均値で除した相対値, ** 前期(1993年1~12月)の移動量, *** 後期(1994年1~9月)の移動量。

るという1点を除き、各項目のプロット間序列は全て一致した。このことは、急傾斜地のヒノキ林では、下層植生による雨滴衝撃緩和作用の違いが土壌侵食強度の違いをもたらすこと、そして、その違いは地表面に現れたヒノキ細根の浮き上がりや、土柱、段差を観察することにより把握可能であることを示す。

以上のことから、土柱個数、段差面積、根系面積率、あるいはこれらを合成した指数は、侵食危険度の判定基準作成を目的とする数量化分析において有効な外的基準として利用可能であると考えられる。

5. コシダ対照区とウラジロ対照区の細土移動量

上述のように、細土移動量のプロット間序列と他の項目のそれとの間ではコシダ対照区とウラジロ対照区の順位に食い違いが認められた。ここではその原因を検討する。

ウラジロ対照区の林床では他の3プロットに比べて、相対的に明色で平滑な鉱質土層の露出が顕著であった。この状況を数値化するために、コシダ対照区とウラジロ対照区で地表面の硬度と表層土(1~5cm深)の理学性を調べた。結果を表-8に示す。ウラジロ対照区の地表面の硬度はコシダ対照区に比べて明らかに大きかった。また、ウラジロ対照区の表層土の理学性は3項目の全てについて、林地の表層土としてはやや異常と見なされる値を示し、コシダ対照区に比べて、明らかに容積重は大きく、透水性と $0.5 < pF < 2.7$ 相当の孔隙量は小さかった。これらの事実は、ウラジロ対照区では、堅く、緻密な下層土の地表への露出度合いが高く、膨軟で、動きやすい表層土、言い換えれば、侵食を受けやすい素材がコシダ対照区に比べて少なかったことを示す。細土移動量におけるウラジロ対照区<コシダ対照区の関係にはこのように侵食されやすい素材の量の違いが要因として働いたものと考えられる。コシダ対照区とウラジロ対照区の水平距離は100mに満たず、土壌の母材は同一であると見なすことができる。従って、両区間のこのような違いは、支尾根上のコシダ対照区と谷筋にあるウラジロ対照区の間での下層植生の消失時期や、消失後の侵食強度の違いによってもたらされたものと考えられる。このことは、ある時間断面で捉えられた移動土砂量は、必ずしもその場所の立地条件や観測時点の林分状況に規定される侵食危険度と正確には対応しない場合があるこ

表-8. コシダ対照区とウラジロ対照区の地表の硬度と表層土(1~5cm)の理学性

	コシダ対照区				ウラジロ対照区			
	地表の硬度 (kg/cm ²)	透水性 (ml/min)	容積重 (g/100 cm ³)	0.5 < pF < 2.7 相当の孔隙量 (%)	地表の硬度 (kg/cm ²)	透水性 (ml/min)	容積重 (g/100 cm ³)	0.5 < pF < 2.7 相当の孔隙量 (%)
標本数	90	10	10	10	90	10	10	10
最大値	4.68	219	76.8	33.9	8.54	98	105.1	26.8
最小値	0.39	18	61.4	20.9	0.81	10	81.9	13.4
平均値	1.74	<i>147</i>	<i>68.9</i>	<i>28.1</i>	3.97	<i>45</i>	<i>93.1</i>	<i>19.1</i>
標準偏差	1.08	70	4.5	4.1	1.93	32	7.1	4.1

太字、平均値の差は危険率1%未満で有意(正規分布検定); 斜体字、平均値の差は危険率1%未満で有意(ウェルチの検定)。注: 透水性と飽水時重量は全試料についてアルコール処理後に測定した。

とを示す。同様のことは1観察時点でのみ計測された土柱個数、段差面積、根系面積率についてもあてはまる。しかし、本研究は少数事例について生じる可能性のあるこのような問題点を、多数事例の調査により稀薄化することをねらいとして行った。このように、少なくとも多数事例を扱う場合には、土柱個数、段差面積、根系面積率が、簡易に評価できる“侵食強度の間接的指標”として有効であることは上に述べたことから明らかである。

引用文献

- 赤井龍男 (1977) ヒノキ林の地力減退問題とその考え方. 林業技術 419: 7-11.
- 赤井龍男・吉村健次郎・真鍋逸平・有光一登・相場芳憲・杉浦孝蔵 (1981) 人工降雨によるヒノキ林内の落葉, 土壌等の流出移動について (II) 一 下層植生の成立状態の異なる若齢林分のリター, 表層土の移動量一. 92 回日林論: 213-214.
- 赤井龍男・吉村健次郎・真鍋逸平・本城尚正・有光一登・杉浦孝蔵・相場芳憲 (1982) 人工降雨によるヒノキ林内の落葉, 土壌等の流出移動について (VII) 一 下層植生の成立状態の異なる若いヒノキ林分のリター, 表層土の移動量一. 93 回日林論: 249-250.
- 荒木 誠・塚本次郎 (1994) 雨滴衝撃の推定値による表土流亡の危険度判定の試み. 日林関西支論 3: 61-64.
- 荒木 誠・塚本次郎・梶原規弘 (1995) 雨滴衝撃の推定値による表土流亡危険度判定手法の検討 (I). 日林関西支論 4: 63-64.
- 原田 洸・佐藤久男・堀田 庸・只木良也 (1969) 28 年生スギ林およびヒノキ林の養分含有量. 日林誌 51: 125-133.
- 橋本与良 (1970) 林地生産力の維持・増進. 59 pp, 日林協, 東京.
- 井上輝一郎・石塚和裕・岩川雄幸・吉田桂子 (1983) 同一斜面に隣接したヒノキ林とスギ林の土壌特性 (2) A₀ 層の状態と表層土の一般理化学性. 日林関西支論 34: 56-60.
- 井上輝一郎・岩川雄幸・吉田桂子 (1987) ヒノキ単純林における落葉および土砂の移動. 林誌研報 343: 171-186.
- 岩川雄幸・井上輝一郎・酒井正治 (1987 a) 山腹斜面のヒノキ林におけるリターおよび土砂の移動について (I) 一 移動量と斜面位置ならびに降水条件との関係一. 日林関西支論 38: 49-52.
- 岩川雄幸・井上輝一郎・酒井正治 (1987 b) 山腹斜面のヒノキ林におけるリターおよび土砂の移動について (II) 一 移動量と立地因子との関係一. 日林関西支論 38: 53-56.
- 川名 明・高原未基・松永栄夫・久保 勇・平山 仁・青沼和夫 (1963) 尾鷲地方におけるヒノキ林の林地保護に関する研究 (第 1 報) ヒノキ成林地における表面土壌流亡の防止試験. 74 回日林論: 126-129.
- 清野嘉之 (1988) ヒノキ人工林の A₀ 被覆率に影響を及ぼす要因の解析. 日林誌 70: 71-74.
- 三原義秋 (1951) 雨滴と土壌侵蝕. 農業技術研究所報告 A 第 1 号: 1-59.
- 宮川 清・荒木 誠・小林繁男・加藤正樹・有光一登 (1987) ヒノキ複層林施業の土壌保全効果 (I) 一 今市署管内複層林, 上木伐採林およびヒノキ皆伐一新植地における地床状態および表層土壌の比較一. 98 回日林論: 215-218.
- 宮川 清・荒木 誠・加藤正樹・小林繁男・有光一登 (1988 a) ヒノキ複層林施業の土壌保全効果 (IV) 一 富士山麓ヒノキ複層林, 同一斉林, 同皆伐一新植地の地床状態および表層土壌の比較一. 99 回日林論: 157-160.
- 宮川 清・加藤正樹・荒木 誠・有光一登 (1988 b) 関東地方人工一斉林の複層林化施業による土壌変化. 国土資源資料 No. 23: 75-83.
- 宮川 清・荒木 誠 (1989) ヒノキ複層林施業の土壌保全効果 (VI) 一 河津宮林署管内ケヤキ-ヒノキ複層林とヒノキ一斉林の地床状態および表層土壌の比較一. 100 回日林論: 221-224.
- 森 充・逢坂興宏 (1994) 愛鷹山麓ヒノキ林内における表面侵食の実態. 日林中部支論 42: 223-225.
- 中村恭二 (1983) ヒノキ林地における土砂等の流亡量について. 日林関西支論 34: 61-64.
- 大味新学・綱本皓二 (1974) 山腹斜面の侵食に関する研究一林種および土壌の相異における降雨加速指数と侵食量の関係について一. 日林誌 56: 379-385.
- 林野庁 (1981) 南近畿・四国地方ヒノキ林分密度管理図
- 酒井正治・大貫靖浩 (1995) 野外における雨滴衝撃の簡易測定法の開発一土柱形成ピン法一. 日林九州支論集 48: 153-154.
- 四手井綱英・斉藤秀樹・赤井龍男・河原輝彦 (1974) ヒノキ林その生態と天然更新. 375 pp, 地球社, 東京.
- 塚本次郎 (1989) 林地斜面における表層物質の移動 (I) 細土の移動. 日林誌 71: 469-480.
- Tsukamoto, J. (1991) Downhill movement of litter and its implication for ecological studies in three types of forest in Japan. Ecol. Res. 6: 333-345.
- Tsukamoto, J. (1993) Movement of soil and litter down slopes in three types of forest (II) movement of gravel in comparison with movement of soil. J. Jpn. For. Soc. 75: 440-444.
- 塚本良則 (1966) 林内の雨滴と飛沫侵蝕. 東農工大演報 5: 65-77.
- 吉村健次郎・赤井龍男・真鍋逸平・相場芳憲・杉浦孝蔵・有光一登・本城尚正 (1981) 人工降雨によるヒノキ林内の落葉, 土壌等の流出移動について (III) 一 保育の異なる壮齢林分のリター, 表層土の移動量一. 92 回日林論: 215-216.
- 吉村健次郎・赤井龍男・真鍋逸平・相場芳憲・杉浦孝蔵・石井弘・本城尚正 (1982) 人工降雨によるヒノキ林内の落葉, 土壌等の流出移動について (IV) 一 スギ林とヒノキ林におけるリター・表層土の移動量の差違一. 93 回日林論: 347-348.
- 吉村健次郎・赤井龍男・真鍋逸平・杉浦孝蔵・石井 弘・本城尚正・相場芳憲 (1983) 人工降雨によるヒノキ林内の落葉, 土壌等の流出移動について (XI) 一 構成状態の異なる若い林分におけるリター, 表層土の移動量一. 94 回日林論: 409-410.

(1997 年 7 月 3 日受付, 1998 年 5 月 7 日受理)